Extrait de « Science du Sol » — N° 2, 1968 — Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol

Caractérisation respirométrique et enzymatique des horizons de surface des sols forestiers [1]

par **Danièle BAUZON** (2), **Raymond VAN DEN DRIESSCHE** (3) et **Yvon DOMMERGUES** (2)

---

(1) Etude effectuée dans le cadre de la R.C.P. 40 (Recherche coopérative sur programme, n° 40).

(2) Centre de pédologie biologique, C.N.R.S., 54-Vandœuvre-les-Nancy.

(3) Section pédologie, Services scientifiques centraux de l'O.R.S.T.O.M., 93-Bondy.

CARACTERISATION RESPIROMETRIQUE ET ENZYMATIQUE DES HORIZONS DE SURFACE DES SOLS FORESTIERS [1]

par **Danièle BAUZON** (2), **Raymond VAN DEN DRIESSCHE** (3) et **Yvon DOMMERGUES** (2)

SOMMAIRE

D'une étude statistique fondée sur des mesures de distances et de regroupements en constellations, il résulte que l'utilisation conjointe de critères respirométriques (dégagement de CO_2, activité déshydrogénasique) et enzymatique (saccharase) et du pH permet d'établir une classification des horizons de surface (epipedons) des sols forestiers tempérés en fonction de la sensibilité à la biodégradation de la matière organique qu'ils renferment :

— très sensibles à la biodégradation : mulls calciques et mulls ;

— assez sensibles à la biodégradation : hydromulls et moders ;

— peu sensibles à la biodégradation : mors.

La matière organique des horizons de surface des sols forestiers de zone tropicale humide (sols ferrallitiques) résiste bien à la biodégradation alors que celle de sols arides du type sierozem y est au contraire très sensible.

---

(1) Etude effectuée dans le cadre de la R.C.P. 40 (Recherche coopérative sur programme, n° 40).

(2) Centre de pédologie biologique, C.N.R.S., 54-Vandœuvre-les-Nancy.

(3) Section pédologie, Services scientifiques centraux de l'O.R.S.T.O.M., 93-Bondy.

A. — INTRODUCTION

La classification des **horizons humifères de surface** - appelés aussi elliptiquement **humus** ou, dans la terminologie américaine, **epipedons** - est fondée à la fois sur des critères morphologiques, sur certains critères chimiques (pH, C/N, taux de saturation notamment) ainsi que sur quelques critères biologiques. Les critères biologiques utilisés jusqu'à présent pour la caractérisation des horizons humifères de surface concernent essentiellement la minéralisation au laboratoire ou **in situ** de l'azote sous forme ammoniacale (ammonification) ou sous forme nitrique (nitrification). Les travaux tels que ceux de LEMEE et LOSSAINT (1953), LEMEE **et al.** (1958), ZOTTL (1960), LOSSAINT et ROUBERT (1964) prouvent que la mesure de l'activité minéralisatrice de l'azote peut rendre de grands services pour distinguer les horizons de surface : ainsi, dans une étude récente, LEMEE (1967) montre que la proportion d'azote organique minéralisé à l'étuve oscille entre 3,4 et 5,2 % dans le cas des mulls pour tomber à 1,5 - 2,7 % dans le cas des mors, la quantité d'azote minéral oxydé jusqu'au stade nitrique atteignant 65 à 79 % dans le premier type d'horizon et ne dépassant pas 4 à 7 % dans le deuxième type.

Il nous a paru intéressant de rechercher si d'autres critères biologiques — notamment des caractéristiques respirométriques et enzymatiques — pouvaient être utilisées pour définir ces horizons de surface. C'est pourquoi nous avons systématiquement déterminé sur les échantillons récoltés : le dégagement de CO_2 mesuré au laboratoire, l'activité déshydrogénasique, la teneur en saccharase. Ces déterminations ont été complétées par des mesures du pH et l'évaluation du taux de carbone. En consultant les tableaux I et I bis, on constatera que notre étude porte non seulement sur des échantillons en provenance de sols forestiers tempérés, mais aussi sur des échantillons de sols arides et de sols de la zone tropicale humide prélevés sous des formations forestières ou sous des cultures annuelles. L'ensemble des résultats a été soumis à une analyse statistique ayant pour but (1) de regrouper en constellations les différents types d'horizons de surface examinés, (2) d'évaluer les distances séparant ces constellations, (3) de mettre en évidence quelques caractéristiques biologiques importantes pour chacune des constellations. Des corrélations de rangs entre différentes variables ont aussi été établies.

Les horizons humifères de surface des sols forestiers tempérés ont été désignés ici conformément à la nomenclature classique (DUCHAUFOUR, 1965). On a, dans tous les cas, précisé la nature des types pédologiques correspondants. Il est utile de souligner à ce propos que des types pédologiques différents peuvent comporter des horizons humifères de surface identiques (phénomène de convergence d'évolution en surface) ; inversement, des types pédologiques identiques peuvent comporter des horizons humifères de surface différents (phénomène de divergence d'évolution en surface).

En ce qui concerne les horizons humifères de surface des sols tropicaux, il n'existe aucune nomenclature particulière. Aussi avons-nous adopté, pour désigner ces horizons, la solution qui consiste à préciser simplement le type pédologique ; on dira ainsi : horizon humifère de surface de sol ferrallitique. Cette façon de procéder ne présente aucun inconvénient, car aucun des horizons de surface étudiés hors de la zone tempérée ne présente le phénomène de divergence d'évolution signalé ci-dessus.

B. — CARACTERISTIQUES STATIONNELLES CORRESPONDANT AUX DIFFERENTS TYPES D'HORIZONS DE SURFACE ETUDIES

Ces caractéristiques sont groupées dans les tableaux I (sols tempérés) et I bis (sols arides et tropicaux).

TABLEAU I

Caractéristiques stationnelles correspondant aux horizons de surface des sols tempérés prélevés dans l'Est de la France

Types d'horizons humifères de surface		N° des lots d'échantillons	Nbre échant. récoltés par lot	Types Pédologiques	Végétation	Situation géographique
N°	Nom					
1	Mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires	1a	1	Rendzine	Chêne	Monvaux
		2	12	Rendzine	Hêtre-chêne	Bellefontaine
		3	1	Sol brun calcaire	Blé-luzerne	Montet
		4	1	Sol brun calcaire	Charme	Brunoy
2	Mulls eutrophes desols bruns lessivés	5a	12	Sol brun lessivé	Hêtre-charme	Sivrite
		6	1	" " "	Hêtre-chêne	Amance
		7	1	" " "	Hêtre	Grande Fraize
		8	1	" " "	Hêtre	Nanquette
3	Mulls mésotrophes de sols bruns modaux et d'andosols	14	1	Sol brun forestier mélanisé	Hêtre - feuillus divers - sapin	Nayemont
		15	1	Andosol	Epicéa	Nayemont
4	Mulls acides de sols bruns acides et andiques et de sols lessivés podzoliques	9a	4	Sol lessivé podzolique	Chêne-hêtre	Bezanges
		10a	4	Sol brun acide	Hêtre	Haut-Jacques
		11	1	Sollessivé podzolique	Chêne-hêtre	Dommartin
		12a	4	Sol lessivé hydromorphe à pseudogley	Chêne - feuillus divers	Mondon
		13	1	Sol brun andique	Feuillus - pin sylvestre	Le Mont
		16	1	Sol brun acide	Hêtre - sapin	Le Palais
5	Mull calcique de rendz. humif. brunifiée	24	1	Rendzine humifère brunifiée	Hêtre - sapin - épicéa	Corrençon
6	Hydromulls de sols hydromorphes organiques, calciques ou eutrophes	17	1	Sol humique à gley ss. anmoor calcique	Hêtre - feuillus divers	Sainte-Hélène
		18	1	Sol à tourbe altérée ssg. eutrophe	Saule - carex	Bellefontaine
7	Moders de sols lessivés podzoliques et de sols cryptopodzoliques	9b	4	Sol lessivé podzolique	Epicéa	Bezanges
		20	1	Sol brun cryptopodzolique	Hêtre	Bois d'Harcotte
		21	1	Sol lessivé podzolique	Hêtre	Vermont
		22	1	" " "	Chêne	Forêt de Brunoy
		23	1	" " "	Hêtre	Sainte-Hélène (Trou du Soldat)
8	Mors de sols tempérés autres que podzols	10b	4	Sol podzolique	Sapin	Haut-Jacques
		12b	4	Sol lessivé à pseudogley	Pin sylvestre	Mondon
		25	1	Sol brun cryptopodzolique	Hêtre	Bois de la Costelle
		27	1	Lithosol à mor	Pin à crochets	Corrençon
9	Mors de podzols tempérés	26	1	Podzol humoferrugineux	Pin sylvestre	Taintrux
		28	1	" "	" "	Rambervillers
10	Hydromors de sols humiques à gley et stagnogley	29	1	Sol humique à stagnogley	Sapin - épicéa	La Salcée
		31	1	Sol humique à gley à hydromor	Sphaigne - pin	Blainville

TABLEAU I bis

Caractéristiques stationnelles correspondant aux horizons de surface des sols arides et tropicaux étudiés

Types d'horizons humifères de surface		N° des lots d'échantillons	Nbre échant. récoltés par lot	Types Pédologiques	Végétation	Situation géographique
N°	Nom					
11	Horizons de surface de sierozems	33 a 33 b	4 4	Sierozem Sierozem	Luzerne irriguée " "	Ksar Rhéris (Tunisie) " "
12	Horizons de surface de sols hydromorphes minéraux tropicaux	11 G 21 G 31 G 41 G 51 G	1 1 1 1 1	Sols hydromorphes minéraux " " " " " " " " " " " "	Flemingia congesta Crotalaria grahamnia Crotalaria anagyroïdes Tripsacum laxum Prairie de graminées diverses	Ivoloina (Côte est Madagascar) " " " "
13	Horizons de surface de sols hydromorphes organiques tropicaux	61 G 71 G	1 1	Sols hydromorphes organiques(tourbes) " " "	Prairie de graminées diverses Tripsacum laxum	Ivoloina (Côte est Madagascar) "
14	Horizons de surface des sols ferrallitiques humifères d'altitude moyenne	20 D 32 1 D 2 D	1 1 1 1	Sols ferrallitiques d'altitude moyen- " " " " ne " " " " " " " "	Prairie de graminées diverses Culture/prairie défrichée Philipia sp. " "	Addis Abéba (Hts plateaux d'Ethiopie) Manankazo (Hts plateaux Madagascar) Mantasoa (Hts plateaux Madagascar) " " " "
15	Horizons de surface de sols ferrallitiques humifères d'altitude faible	7 D 8 D 9 D 10 D	1 1 1 1	Sols ferrallitiques " " " " " "	Forêt ombrophile primaire Formation secondaire de Ravenala madagascariensis " " " " " " " "	Périnet (Madagascar) Ampitambe (Madagascar) " "
16	Horizons de surface de podzols tropicaux	3 D 5 D 6 D 11 D 12 D 81 G	1 1 1 1 1 1	Podzols tropicaux " " " " " " " " " "	Philipia sp. Eucalyptus sp. Eucalyptus sp. Prairie Aristida Formation littorale côte est Philipia sp.	Masse (Madagascar) Périnet (Madagascar) " " PK 30 route Vatomandry-Tananarive PK 47 " " " Ivoloina (Madagascar)

TABLEAU II

Caractéristiques biologiques (moyennes d'effectif 1 à 15 unités d'échantillonnage, 3 déterminations analytiques par unité) de 16 types d'horizons de surface (epipedon) appartenant à des sols tempérés et tropicaux. Les unités de mesures sont données dans le texte. Les étendues sont utilisées pour le calcul des distances

	pH	dégagement de CO_2	activité déshydrogénasique	saccharase	coëfficient de minéralisation du carbone	activité déshydrogénasique en fonction du carbone	saccharase en fonction du carbone	effectifs
Mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires (1)	7,4	3,23	154	270	1,32	2210	5086	15
Mulls eutrophes de sols bruns lessivés (2)	5,4	2,78	66	229	1,57	1457	5120	15
Mulls mésotrophes de sols bruns modaux et d'andosols (3)	5,0	2,95	55	291	1,18	846	4612	2
Mulls acides de sols bruns acides et andiques et de sols lessivés podzoliques (4)	4,1	2,90	80	345	0,98	1005	4204	15
Mullcalcique de rendzine brunifiée (5)	7,1	5,80	81	224	0,78	403	1115	1
Hydromulls de sols hydromorphes organiques calciques ou eutrophes (6)	6,9	4,24	98	175	1,15	917	1900	2
Moders de sols lessivés podzoliques et de sols cryptopodzoliques (7)	4,0	3,94	61	464	0,82	427	2911	8
Mors de sols tempérés autres que podzols (8)	3,6	6,44	50	572	0,59	192	2038	10
Mors de podzols tempérés (9)	3,7	0,88	15	67	0,29	197	816	2
Hydromors de sols humiques à gley et stagnogley (10)	3,6	6,69	33	290	0,59	105	928	2
Sierozems (11)	7,9	0,25	6	22	2,55	2173	7726	8
Sols hydromorphes minéraux tropicaux (12)	4,8	0,68	11	29	1,00	524	1569	5
Sols hydromorphes organiques tropicaux (13)	4,2	1,52	18	137	0,24	102	782	2
Sols ferrallitiques humifères d'altitude moyenne (14)	4,9	0,41	43	310	0,34	635	2435	4
Sols ferrallitiques humifères d'altitude faible (15)	4,6	1,13	54	70	0,44	1077	1153	4
Podzols tropicaux (16)	4,0	0,67	14	81	0,35	581	1925	6
Etendues	4,4	6,50	150	560	2,40	2150	7000	

C. — METHODES ANALYTIQUES - EXPRESSION DES RESULTATS

1. DEGAGEMENT DE CO_2 :

Il a été mesuré au laboratoire suivant la technique simple décrite antérieurement, les résultats étant exprimés en mg de CO_2 dégagé en 7 jours par g de sol ou en fonction du carbone du sol sous la forme du coefficient de minéralisation du carbone (DOMMERGUES, 1960) :

$$\frac{(C \text{ du } CO_2) \times 100}{C \text{ total}}$$

2. ACTIVITE DESHYDROGENASIQUE :

Elle a été déterminée suivant la méthode de CASIDA et **al** (1964), les résultats étant exprimés en µl H transféré en 24 heures par g de sol **(activité déshydrogénasique)** ou en µl H transféré en 24 heures par g de carbone du sol **(activité déshydrogénasique en fonction du carbone).**

3. TENEUR EN SACCHARASE :

Elle a été déterminée suivant la méthode de HOFMANN et SEEGERER (1951), les résultats étant exprimés en mµM de sucres réducteurs formés par minute et par g de sol comme le préconise ROSS (1965) **(saccharase)** ou en mµM de sucres réducteurs formés par minute et par g de carbone du sol **(saccharase en fonction du carbone).**

4. pH ET CARBONE :

Le pH a été mesuré sur pâte de sol. La teneur en carbone a été déterminée par combustion sur Carmograph, les résultats étant exprimés en pourcentages.

D. — RESULTATS

1. MISE EN EVIDENCE DES CONSTELLATIONS D'HORIZONS DE SURFACE :

Les constellations sont obtenues à partir des $\frac{1}{2}^{6}$ distances multivariates mesurées entre les 16 horizons de surface.

La mesure de distance qui est utilisée (HIERNAUX, 1965) ne fait appel qu'aux valeurs gk de chacune des **v** variables (**k** = 1, 2,..., **v**), et aux étendues arrondies ak correspondantes :

$$\Delta_g^{12} = \frac{10000}{v} \sum_{k=1}^{v} \left(\frac{g_k^1 - g_k^2}{a_k}\right)^2$$

$$\Delta_g^{13} = \frac{10000}{v} \sum_{k=1}^{v} \left(\frac{g_k^1 - g_k^3}{a_k}\right)^2$$

et ainsi de suite jusqu'à Δg entre 15 et 16. Pour effectuer cette analyse statistique des variables — qui figurent au tableau II — nous avons utilisé soit le pH et les 3 variables biologiques, soit le pH et les mêmes variables biologiques exprimées en fonction du carbone. Ainsi, la distance, entre les mulls eutrophes de sols bruns lessivés et le mull calcique de rendzine brunifiée, mesurée à partir du premier lot de variables, montre les détails du calcul :

$$\Delta_g^{25} = \frac{10000}{4} \left[\left(\frac{5,4-7,1}{4,4}\right)^2 + \left(\frac{2,78-5,80}{6,50}\right)^2 + \left(\frac{66-81}{150}\right)^2 + \left(\frac{229-224}{560}\right)^2\right] = 938$$

TABLEAU III

Distances (divisées par 10) mesurées avec les 4 variables : pH, dégagement de CO_2, activité déshydrogénasique et saccharase

de 1 à		de 2 à		de 3 à		de 4 à		de 5 à		de 6 à		de 7 à		de 8 à		de 9 à		de 10 à		de 11 à		de 12 à		de 13 à		de 14 à		de 15 à		de 16 à	
6	51	3	7	2	7	3	20	6	20	5	20	4	22	7	50	16	2	8	67	12	126	16	11	16	7	3	40	13	21	9	2
5	101	4	35	4	20	7	22	2	94	1	51	3	43	10	67	13	10	7	80	15	173	9	17	9	10	13	44	12	24	13	7
2	140	15	46	14	40	2	35	1	101	2	55	8	50	4	128	12	17	3	113	2	193	13	19	12	19	2	48	16	24	12	11
3	184	14	48	7	43	14	61	3	116	3	88	2	78	3	161	15	28	4	115	14	198	15	24	15	21	15	51	9	28	15	24
4	207	6	55	13	54	13	89	4	178	4	139	10	80	2	218	14	76	2	147	13	198	14	75	14	44	4	61	2	46	14	62
14	266	13	60	15	61	15	90	10	192	15	156	14	107	5	268	3	105	13	187	16	201	2	96	3	54	16	62	14	51	3	98
15	270	7	78	6	88	10	115	7	195	14	187	13	141	14	292	2	109	5	192	6	220	3	107	2	60	12	75	3	61	2	99
7	278	5	94	16	98	8	128	15	237	7	191	15	176	13	310	4	135	6	234	9	233	11	126	4	89	9	76	4	90	4	134
11	348	12	96	9	105	16	134	14	256	13	210	6	191	6	321	7	206	15	239	3	236	4	168	7	141	7	107	6	156	11	201
13	369	16	99	12	107	9	135	13	267	11	220	5	195	15	381	11	233	9	243	5	286	6	233	10	184	6	187	11	173	7	205
12	399	9	109	10	113	6	139	8	268	12	233	16	205	9	400	10	243	16	255	1	348	7	250	11	198	11	198	7	176	10	255
10	420	1	140	5	116	12	168	11	286	10	234	9	206	16	406	6	285	14	257	4	372	10	292	6	210	5	256	5	237	6	269
16	434	10	147	8	161	5	178	12	308	16	269	12	250	1	440	5	361	12	292	7	466	5	308	5	267	10	257	10	239	5	346
8	440	11	193	1	184	1	207	16	246	9	285	1	278	12	467	8	400	1	420	10	550	1	399	8	310	1	266	1	270	8	406
9	457	8	218	11	236	11	372	9	361	8	321	11	466	11	728	1	457	11	550	8	728	8	467	1	369	8	292	8	381	1	434

Les 120 distances sont introduites, dans l'ordre croissant, mais séparément pour chaque horizon de surface, dans le tableau III, après avoir été divisées par 10 pour réduire l'encombrement.

Le regroupement s'opère comme suit, les termes **horizon** et **constellation** remplaçant respectivement horizon de surface et ensemble d'horizons de surface les moins dissemblables.

Aux 2 horizons les plus proches (distance minimale du tableau III) on adjoint l'horizon pour lequel l'accroissement de distance (à ce stade, la distance du troisième horizon au premier plus celle du troisième au deuxième) est le plus faible. Les trois horizons constituent l'ébauche d'une constellation si la distance moyenne intra-constellation reste inférieure à toute distance mesurée entre l'un des 3 horizons et l'un des 13 autres, c'est-à-dire à toute distance intra-extra-constellation. Dans l'affirmative, on calcule les accroissements pour chacun des 13 horizons ; le plus faible accroissement (somme de trois distances) désigne l'horizon qui peut entrer dans la constellation, toujours sous la condition :

$$\bar{\Delta}g \text{ intra-constellation} < \Delta g \text{ intra-extra-constellation}$$

La première constellation est ainsi agrandie jusqu'au moment où la condition n'est plus remplie.

Parmi les distances du tableau III qui ne relient pas les horizons de la première constellation, la plus faible constitue l'ébauche de la deuxième constellation si sa distance moyenne intra-constellation est inférieure à la nouvelle distance moyenne interconstellations. Si tel est bien le cas, on ajoute à la deuxième constellation l'horizon au plus faible accroissement de distance, cette fois aux deux conditions :

$$\bar{\Delta}g \text{ intra-constellation} < \bar{\Delta}g \text{ interconstellations}$$
$$\bar{\Delta}g \text{ intra-constellation} < \Delta g \text{ intra-extra-constellation}$$

L'adjonction d'horizons est interrompue dès que l'une des conditions n'est plus remplie.

Pour les constellations suivantes, c'est le Δg minimal entre les horizons non encore regroupés en constellations qui sert de point de départ et les deux conditions précitées restent d'application jusqu'à épuisement de tous les horizons. Les distances moyennes interconstellations sont calculées, par conséquent, lors de chaque tentative d'adjonction de nouveaux horizons. Un exemple de calcul est donné par ailleurs (VAN DEN DRIESSCHE, 1965).

Les distances moyennes intra et interconstellations sont présentées sous forme matricielle (tableaux IV et V).

a) **Première méthode : regroupement en constellations fondé sur l'utilisation des variables non exprimées en fonction du carbone.**

L'analyse statistique regroupe 15 des 16 types d'horizons de surface en 4 constellations (tableau IV). On fait figurer au tableau IX les valeurs extrêmes du pH et des 3 caractéristiques biologiques correspondant à chacune des constellations et ainsi qu'à l'horizon de surface de sierozem qui n'a été inclus dans aucune d'entre elles.

Constellation A1. — Elle rassemble les mors des podzols tempérés et tous les horizons de surface des sols de zone tropicale humide étudiés ici ; mais elle exclut les mors autres que les mors de podzols. Les horizons de surface de la constellation A1 sont caractérisés par un pH acide, un dégagement de CO_2 et une activité déshydrogénasique faibles ; la teneur en saccharase est très variable.

Constellation B1. — Elle rassemble tous les horizons de surface des sols tempérés connus sous le nom de mulls et de moders. Les horizons de surface de la constellation

B1 se différencient nettement des horizons de surface de la constellation A1 par un dégagement de CO_2 et une activité déshydrogénasique plus élevés.

Constellation C1. — Elle rassemble les horizons de surface riches en calcium qu'ils appartiennent à des sols bien drainés (mulls calciques), mal drainés (hydromulls) ou d'altitude (rendzine brunifiée). Cette constellation se distingue essentiellement de la précédente par son pH neutre ou supérieur à 7 ; elle se distingue des horizons de surface des sierozems par une activité respiratoire non exprimée en fonction du carbone (1) toujours beaucoup plus intense.

Constellation D1. — Elle regroupe deux types de mors de sols tempérés : mors de sols tempérés autres que podzols (c'est à dire mor de sol podzolique, mor de sol lessivé à pseudogley, mor de sol brun crypto-podzolique, mor de lithosol) et hydromors. Ces mors se distinguent essentiellement des mors de podzols par un dégagement de CO_2 considérable.

Les horizons de surface de sierozems constituent un type particulier caractérisé par un pH très élevé et une activité respiratoire très faible.

Le tableau IV et la figure 1 mettent clairement en évidence la position intermédiaire des mulls et moders entre les mors et mulls calciques ainsi que l'éloignement des horizons de surface de sierozems par rapport à tous les autres types d'horizons de surface.

b) **Deuxième méthode : regroupement en constellations fondé sur l'utilisation des variables exprimées en fonction du carbone :**

Le tableau V regroupe les 16 types d'horizons de surface en 4 constellations, les mulls calciques et les horizons de surface des sierozems n'étant rattachés à aucune constellation. On a fait figurer au tableau X les valeurs extrêmes des pH et des 3 variables biologiques exprimées en fonction du carbone et correspondant à chacune des constellations.

Constellation A2. — Elle rassemble tous les mors de sols tempérés et une partie des horizons de surface des sols tropicaux (sols hydromorphes organiques). Cette constellation se différencie essentiellement de la constellation des moders C2 par une activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone beaucoup plus faible.

Constellation B2. — Elle rassemble le mull calcique de rendzine brunifiée et les hydromulls mais exclut les mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires. La constellation B2 se différencie de ces derniers horizons de surface par une activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone et une teneur en saccharase exprimée en fonction du carbone beaucoup plus faibles.

Constellation C2. — Elle rassemble les moders et les horizons de surface des différents sols de zone tropicale humide, sauf les horizons de surface des sols hydromorphes organiques. Cette constellation se différencie de la constellation des mors A2 par une activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone plus élevée ; elle se différencie de la constellation des mulls D2 par une faible teneur en saccharase exprimée en fonction du carbone.

Constellation D2. — Elle rassemble tous les mulls. Ceux-ci se distinguent des mulls calciques esssentiellement par le pH acide et une activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone plus faible.

Les mulls calciques et les horizons de surface de **sierozems** se différencient par leur cœfficient de minéralisation du carbone et, accessoirement, par la saccharase exprimée en fonction du carbone.

Les distances entre les constellations figurent au tableau V ; elles ont été matérialisées par la figure 2 qui montre clairement :

1° L'éloignement des mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires et plus encore celui des horizons de surface des sierozems par rapport aux mulls et moders ;

2° La proximité relative du mull calcique de rendzine brunifiée et des hydromulls par rapport aux moders.

(1) Nous désignons sous le terme d'activité respiratoire, cette activité qu'elle soit mesurée par le dégagement de CO_2 ou par le test d'activité déshydrogénasique.

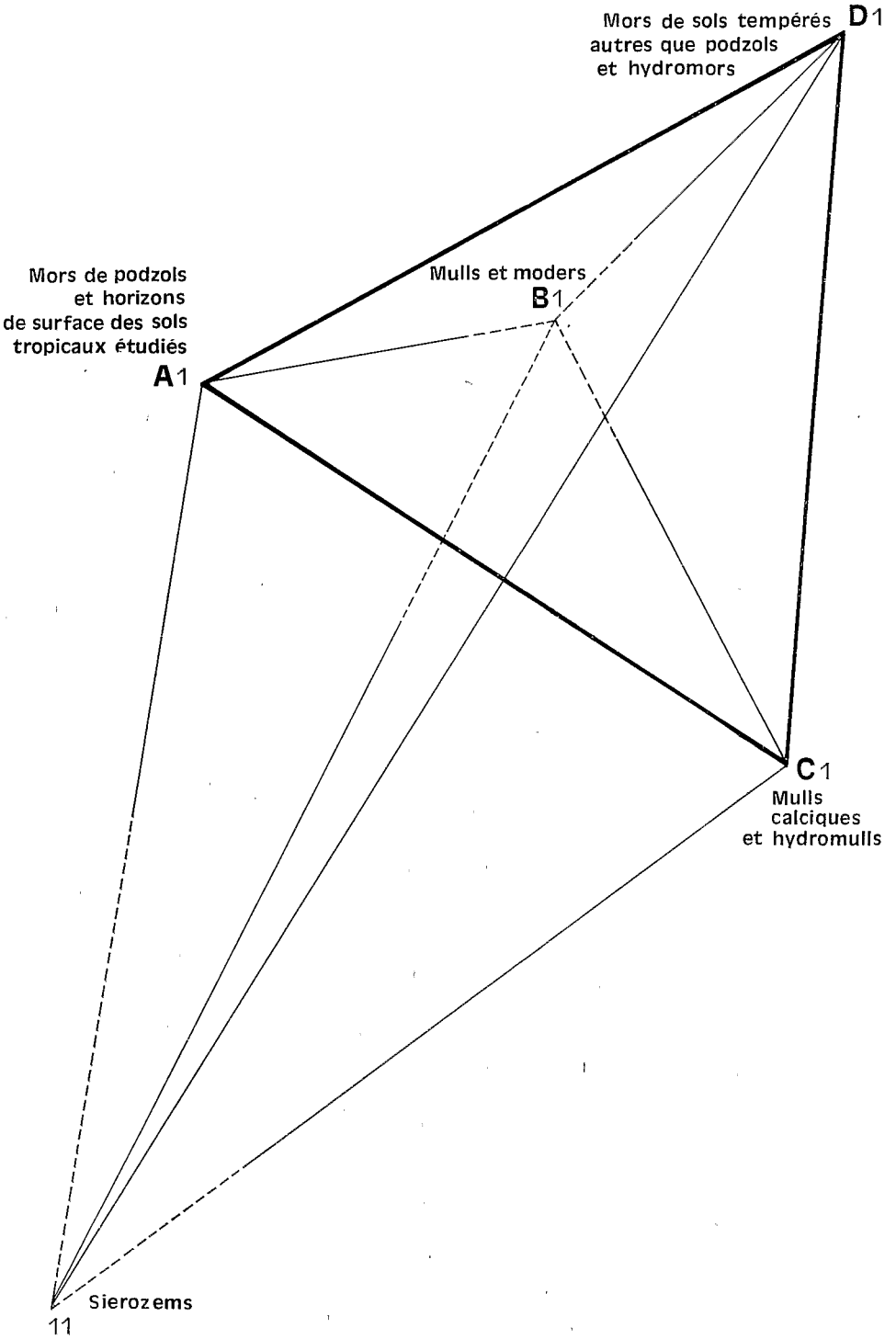

FIGURE 1

Représentation des distances moyennes du tableau IV par des traits continus, prolongés quand nécessaire par des traits interrompus, servant à identifier les couples de constellations. Les distances sont obtenues avec les 4 variables : pH, dégagement de CO_2, activité déshydrogénasique et saccharase

TABLEAU IV

Constellations et distances moyennes intra et interconstellations (divisées par 10) obtenues avec les 4 variables : pH, dégagement de CO_2, activité déshydrogénasique et saccharase

	A1	B1	C1	D1	11
Mors de podzols et horizons de surface des sols tropicaux étudiés (A1) Mors de sols tempérés (9) Sols hydromorphes minéraux tropicaux (12) Sols hydromorphes organiques tropicaux (13) Sols ferrallitiques humifères d'altitude moyenne (14) Sols ferrallitiques humifères d'altitude faible (15) Podzols tropicaux (16)	31	112	295	311	188
Mulls et moders (B1) Mulls eutrophes de sols bruns lessivés (2) Mulls mésotrophes de sols bruns modaux et d'andosols (3) Mulls acides de sols bruns acides et andiques et de sols lessivés podzoliques (4) Moders de sols lessivés podzoliques et de sols cryptopodzoliques (7)	112	34	155	127	317
Mulls calciques et hydromulls (C1) Mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires (1) Mull calcique de rendzine brunifiée (5) Hydromulls de sols hydromorphes organiques calciques ou eutrophes (6)	295	155	57	312	285
Mors de sols tempérés autres que podzols et hydromors (D1) Mors de sols tempérés autres que podzols (8) Hydromors de sols humiques à gley et stagnogley (10)	311	127	312	67	639
Sierozems (11)	188	317	285	639	0

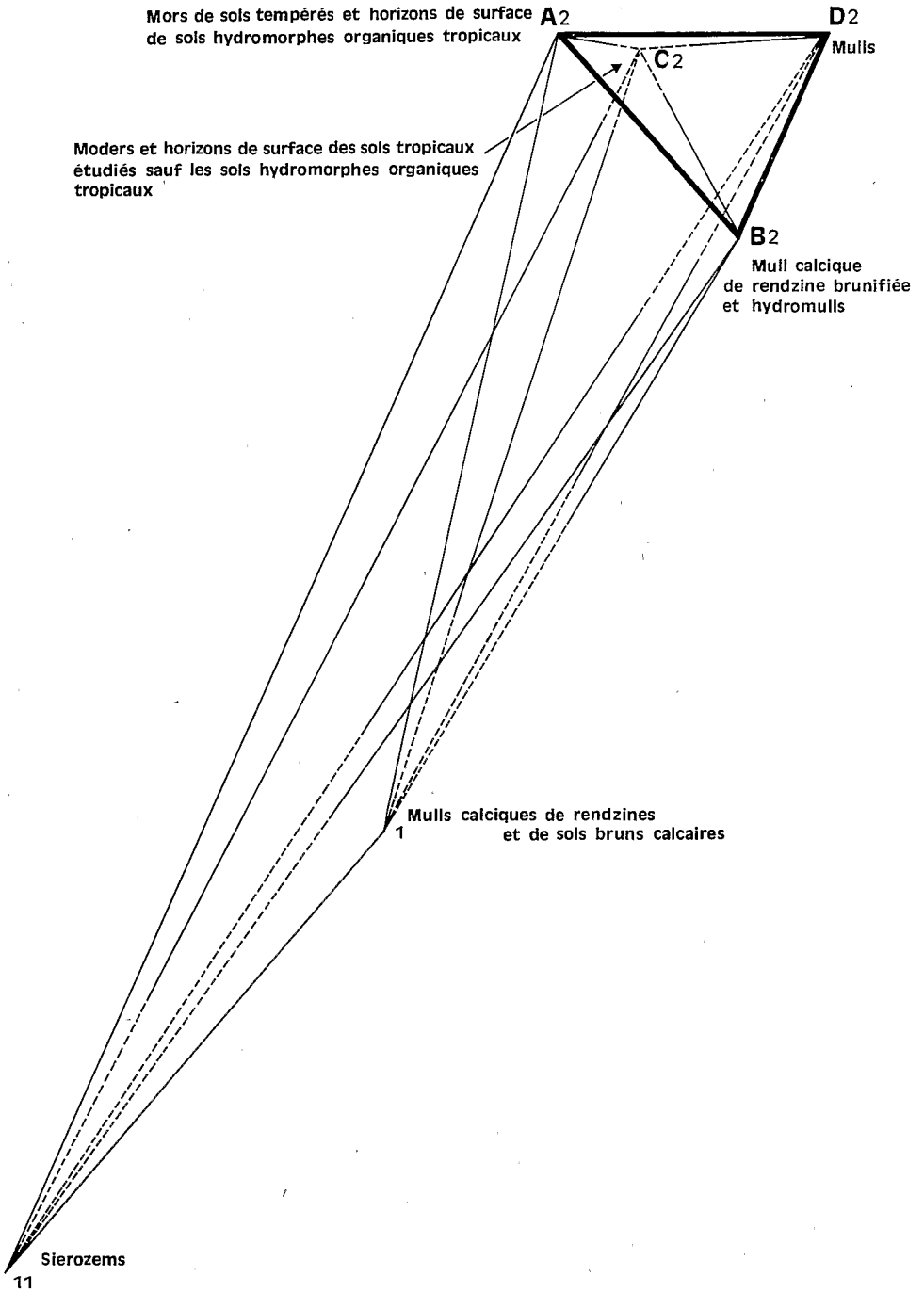

FIGURE 2

Représentation des distances moyennes du tableau V par des traits continus, prolongés quand nécessaire par des traits interrompus, servant à identifier les couples de constellations. Les distances sont obtenues avec les 4 variables : pH, coefficient de minéralisation du carbone, activité déshydrogénasique en fonction du carbone, saccharase en fonction du carbone

TABLEAU V

Constellations et distances moyennes intra et interconstellations (divisées par 10) obtenues avec les 4 variables : pH, coefficient de minéralisation du carbone, activité déshydrogénasique en fonction du carbone et saccharase en fonction du carbone

	A2	B2	C2	D2	1	11
Mors de sols tempérés et horizons de surface de sols hydromorphes organiques tropicaux (A2)						
Mors de podzols tempérés (9) Mors de sols tempérés autres que podzols (8) Hydromors de sols humiques à gley et stagnogley (10) Sols hydromorphes organiques tropicaux (13)	9	171	38	169	517	862
Mull calcique de rendzine brunifiée et hydromulls (B2)						
Mull calcique de rendzine brunifiée (5) Hydromulls de sols hydromorphes organiques calciques ou eutrophes (6)	171	24	106	142	209	447
Moders et horizons de surface des sols tropicaux étudiés sauf les sols hydromorphes organiques tropicaux (C2)						
Moders de sols lessivés podzoliques et sols cryptopodzoliques (7) Sols hydromorphes minéraux tropicaux (12) Sols ferrallitiques humifères d'altitude moyenne (14) Sols ferrallitiques humifères d'altitude faible (15) Podzols tropicaux (16)	38	106	25	88	325	622
Mulls (D2)						
Mulls eutrophes de sols bruns lessivés (2) Mulls mésotrophes de sols bruns modaux et d'andosols (3) Mulls acides de sols bruns acides et andiques et de sols lessivés podzoliques (4)	169	142	88	32	163	317
Mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires (1)	517	209	325	163	0	105
Sierozems (11)	862	447	622	317	105	0

2. CORRELATION DES RANGS ENTRE LES DIFFERENTES VARIABLES :

Le test de la corrélation est un test d'interdépendance entre deux variables. Les **v** variables entrant dans une étude sont prises 2 à 2 et $v(v-1)/2$ tests sont faits.

Lorsque les fonctions de répartition des variables ne sont pas connues, comme c'est le cas dans notre étude, il est préférable d'utiliser les corrélations des rangs.

Basé sur les rangs, le test de la corrélation (SPEARMAN, 1904) entre 2 variables **i** et **j** d'effectif commun **n** suit les étapes que voici.

Etape 1 : Les valeurs de **i** et **j** prises avec toutes les décimales disponibles sont remplacées, séparément, par les rangs 1 à **n**. Le rang 1 est attribué à la valeur **i** la plus faible, le rang 2 à la valeur **i** immédiatement supérieure, etc, jusqu'au rang **n** qui va à la valeur **i** maximale. Des rangs sont ensuite attribués aux valeurs **j** de la même façon. Les valeurs ex aequo d'une même variable reçoivent comme rang la moyenne des rangs.

Exemples : Les valeurs du dégagement de CO_2 (tableau II) sont remplacées par les rangs :

11 8 10 9 14 13 12 15 5 16 1 4 7 2 6 3

Les valeurs de pH (tableau II) présentent deux lots d'ex aequo, chacun de 2 valeurs :

3,6 3,6 4,0 4,0

Pour remplacer les pH :

7,4 5,4 5,0 4,1 7,1 6,9 4,0 3,6 3,7 3,6 7,9 4,8 4,2 4,9 4,6 4,0

nous utilisons les rangs :

15 12 11 6 14 13 4,5 1,5 3 1,5 16 9 7 10 8 4,5

Etape 2 : En l'absence d'ex aequo, tant pour **i** que pour **j**, le coefficient de corrélation s'écrit :

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_1^n d^2}{n^3 - n}$$

d étant la différence, en valeur absolue, entre rangs homologues.

Exemple sans ex aequo : Le coefficient de corrélation entre le dégagement de CO_2 et l'activité déshydrogénasique, dont les valeurs (tableau II) sont remplacées par les rangs :

i	11	8	10	9	14	13	12	15	5	16	1	4	7	2	6	3
j	16	12	10	13	14	15	11	8	4	6	1	2	5	7	9	3

et leurs différences :

d	5	4	0	4	0	2	1	7	1	10	0	2	2	5	3	0

$$rs = 1 - \frac{6\,(5^2 + 4^2 + \ldots + 3^2)}{16^3 - 16} = 0{,}626.$$

En présence d'ex aequo dans les valeurs de **i** ou de **j**, il convient de calculer les expressions :

$$I = \frac{n^3 - n}{12} - \sum_{q=1}^{e_i} \frac{t_{qi}^3 - t_{qi}}{12}$$

$$J = \frac{n^3 - n}{12} - \sum_{q=1}^{e_j} \frac{t_{qj}^3 - t_{qj}}{12}$$

dans lesquelles nous utilisons les symboles :

ei nombre de lots d'exaequo de la variable **i**.
tqi nombre de valeurs identiques dans q° lot d'ex aequo de **i**.
ej nombre de lots d'ex aequo de **j**.
tqj nombre de valeurs identiques dans le q° lot d'ex aequo de **j**.

Le coefficient de corrélation s'écrit alors :

$$r_s = \frac{I + J - \sum_1^n d^2}{2\sqrt{IJ}}$$

Exemple avec ex aequo : La corrélation entre le pH et la saccharase, dont les rangs :

i	15	12	11	6	14	13	4,5	1,5	3	1,5	16	9	7	10	8	4,5
j	10	9	12	14	8	7	15	16	3	11	1	2	6	13	4	5

et les différences :

d	5	3	1	8	6	6	10,5	14,5	0	9,5	15	7	1	3	4	0,5

donnent :

$$\sum d^2 = 5^2 + 3^2 + \ldots + 0{,}5^2 = 882$$

$$I = \frac{16^3 - 16}{12} - \frac{2^3 - 2}{12} - \frac{2^3 - 2}{12} = 339$$

$$J = \frac{16^3 - 16}{12} - 0 = 340$$

$$\text{et } r_s = \frac{339 + 340 - 882}{2\sqrt{339 \times 340}} = -0{,}299$$

Etape 3 : Pour le test de la corrélation au risque 5 % il faut extraire du tableau VI le rs critique correspondant à l'effectif (BEYER, 1966, p. 330). La corrélation est significative quand le rs calculé dépasse, en valeur absolue, le rs critique. Positif et significatif, rs traduit une relation de même sens entre les variables **i** et **j** : une augmentation de **i** entraîne une augmentation de **j**. Négatif et significatif, il traduit une relation inverse : une augmentation de **i** entraîne une diminution de **j**. Il est inutile, à notre avis, de présenter la matrice des coefficients. Une matrice des résultats du test, sous la forme :

N pour les corrélations négatives significatives ;

P pour les corrélations positives significatives ;

A pour l'absence de corrélation (rs non signaficatifs),
est d'une lecture plus aisée.

TABLEAU VI
Valeurs critiques du coefficient de corrélation des rangs de Spearman au risque 5 % pour des effectifs n

n	r_s	n	r_s	n	r_s	n	r_s	n	r_s
6	0,886	11	0,623	16	0,507	21	0,438	26	0,392
7	0,786	12	0,591	17	0,490	22	0,428	27	0,385
8	0,738	13	0,566	18	0,476	23	0,418	28	0,377
9	0,683	14	0,545	19	0,462	24	0,409	29	0,370
10	0,648	15	0,525	20	0,450	25	0,400	30	0,364

Les deux corrélations $+ 0{,}626 > |0{,}507|$ (P), entre le dégagement de CO_2 et l'activité déshydrogénasique, et $- 0{,}299 < 0{,}5071$ (A), entre le pH et la saccharase, se retrouvent dans le tableau VII avec les 4 autres corrélations. Le pH n'est lié ni au dégagement de CO_2, ni à l'activité déshydrogénasique, ni à la saccharase. Celles-ci sont toutes, par contre, liées entre elles positivement. Comme on le voit, nous n'avons pas calculé de corrélations avec le cœfficient de minéralisation du carbone, ni avec l'activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone, ni avec la saccharase en fonction du carbone (tableau II), car ces corrélations seraient illusoires.

TABLEAU VII
Résultats du test de la corrélation des rangs de Spearman : absence de corrélation (A) *et corrélation positive* (P)

	pH	dégagement de CO_2	activité déshydrogénasique	saccharase
pH	•	A	A	A
dégagement de CO_2	A	•	P	P
activité déshydrogénasique	A	P	•	P
saccharase	A	P	P	•

E. — DISCUSSION

Nous comparerons d'abord la méthode de regroupement en constellations fondée sur l'utilisation des variables non exprimées en fonction du carbone avec celle qui est fondée sur l'utilisation des variables exprimées en fonction du carbone. Nous examinerons ensuite les caractéristiques majeures de ces constellations ; puis nous ferons quelques commentaires sur les corrélations de rang observées.

1. COMPARAISON DES METHODES DE REGROUPEMENT FONDEES SUR L'UTILISATION DE VARIABLES EXPRIMEES OU NON EN FONCTION DU CARBONE :

Quelle que soit la méthode employée, les horizons de surface des sierozems occupent une place bien à part.

En ce qui concerne la distinction entre les mors et les autres horizons de surface, les deux méthodes donnent une séparation acceptable. Dans le cas des sols tempérés, la première méthode permet en particulier de distinguer deux groupes de mors : d'une part, les mors de podzols, d'autre part, les mors de sols tempérés autres que podzols (mor de sol podzolique ; mor de sol lessivé à pseudogley ; mor de sol brun cryptopodzolique ; mor de lithosol) et les hydromors.

La distinction entre mulls et moders ne peut être obtenue que par la deuxième méthode qui présente, en outre, l'avantage de séparer clairement d'une part, les mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires, d'autre part le mull de rendzine brunifiée et les hydromulls. On notera toutefois, qu'à défaut de séparation entre mulls et moders, la première méthode peut permettre de classer les différents types de mulls et de moders les uns par rapport aux autres : le tableau VIII montre en effet que les distances par rapport aux mulls eutrophes s'accroissent lorsqu'on se rapproche des moders.

L'ensemble des observations que nous venons de formuler ainsi que l'examen comparatif des figures 1 et 2 nous montrent que, pour obtenir un regroupement valable des

TABLEAU VIII
Distances moyennes entre les 4 types d'horizons de surface rassemblés dans la constellation B1

	2	3	4	7
Mulls eutrophes de sols bruns lessivés (2)	0	7	35	78
Mulls mésotrophes de sols bruns modaux et d'andosols (3)	7	0	20	43
Mulls acides de sols bruns acides et andiques et de sols lessivés podzoliques (4)	35	20	0	22
Moders de sols lessivés podzoliques et sols cryptopodzoliques (7)	78	43	22	0

horizons de surface, la deuxième méthode (analyse des variables exprimées en fonction du carbone) est bien supérieure à la première. Signalons, à ce propos, que l'expression des résultats des analyses biologiques en fonction de la teneur en carbone du sol (ou de la teneur en matière organique) a été déjà proposée et appliquée avec succès par plusieurs auteurs dont LEMEE **et al.** (1958), MINDERMAN et DANIELS (1967), LEMEE (1967). C'est donc en se fondant essentiellement sur des variables exprimées en fonction du carbone que nous poursuivrons notre discussion, sans négliger, toutefois, de faire appel aux variables non exprimées en fonction du carbone lorsque le besoin s'en fera sentir.

2. PRINCIPE DE L'INTERPRETATION DES VARIABLES :

a) Dégagement de CO_2 et cœfficient de minéralisation du carbone :

La méthode adoptée ici consiste à évaluer la production cumulée de CO_2 pendant 7 jours d'incubation au laboratoire d'échantillons de sol placés dans des conditions optimales ou suboptimales de température, humidité (capacité au champ) et aération. Ces conditions d'incubation diffèrent très sensiblement de celles qui règnent **in situ** de sorte que la quantité de CO_2 dégagée au cours de l'incubation **in vitro** est plus le reflet de la teneur du sol en substrats carbonés facilement minéralisables au laboratoire (carbone minéralisable) qu'il n'est le reflet de l'activité microbienne **in situ**. La teneur du sol en substrats carbonés est elle-même la résultante de deux processus agissant dans des directions opposées : (1) processus d'apports de composés carbonés, ces apports étant essentiellement le fait de la végétation, (2) processus de biodégradation (accessoirement de lessivage) de ces composés.

Quant au cœfficient de minéralisation du carbone, il est essentiellement fonction de la proportion de carbone minéralisable contenu dans la matière organique du sol. Ce cœfficient est d'autant plus faible que la matière organique du sol résiste mieux à la biodégradation dans les conditions optimales de température, humidité et aération.

b) Activité déshydrogénasique exprimée ou non en fonction du carbone :

Parallèlement à la méthode classique de mesure de dégagement de CO_2 ou d'absorption d'oxygène, on utilise depuis une dizaine d'années une autre méthode d'appréciation de l'activité respiratoire du sol ; cest la méthode de mesure de l'activité déshydrogénasique qui est fondée sur le principe suivant : on remplace l'accepteur normal d'hydrogène de la respiration que constitue l'oxygène dans les sols exondés, par un accepteur

TABLEAU IX

Valeurs extrêmes du pH et des 3 variables biologiques correspondant à chacune des constellations mises en évidence par la première méthode (utilisation des variables non exprimées en fonction du carbone)

	pH	dégagement de CO_2	activité déshydrogénasique	saccharase
Mors de podzols et horizons de surface des sols tropicaux étudiés (A1)	3,7 et 4,9	0,41 et 1,52	11 et 54	29 et 310
Mulls et moders (B1)	4,0 et 5,4	2,78 et 3,96	55 et 80	229 et 464
Mulls calciques et hydromulls (C1)	6,9 et 7,4	3,23 et 5,80	81 et 154	175 et 270
Mors de sols tempérés autres que podzols et hydromors (D1)	3,6	6,44 et 6,69	33 et 50	290 et 572
Sierozems (11)	7,9	0,25	6	22

d'hydrogène artificiel tel que le chlorure de 2, 3, 5-triphényltétrazolium (TTC). La quantité de ce composé qui est réduite sous forme de formazan (TPF) après une incubation de 24 h en **anaérobiose** (milieu saturé en eau) mesure l'activité déshydrogénasique du sol.

Bien que la durée et les conditions d'incubation (anaérobiose, saturation) adoptées pour la mesure de l'activité déshydrogénasique, soient nettement différentes de celles où l'on place le sol pour la mesure du dégagement de CO_2 (aérobiose, capacité au champ), on peut admettre en **première approximation** que l'activité déshydrogénasique, a la même signification que le dégagement de CO_2.

L'activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone du sol s'interprète de la même façon que l'activité déshydrogénasique non exprimée en fonction du carbone.

c) **Saccharase et saccharase en fonction du carbone :**

La teneur du sol en saccharase est réglée par l'équilibre entre les gains et les pertes de cet enzyme dans le sol. Les gains résultent soit de l'incorporation au sol d'enzymes d'origine végétale, soit de synthèses microbiennes, ces dernières étant elles-mêmes fonction de la présence du substrat correspondant dans le sol. Les pertes résultent essentiellement des processus de biodégradation de cet enzyme et éventuellement des processus de lessivage.

L'expression de la teneur du sol en saccharase en fonction du carbone du sol permet de comparer, pour des sols dont la richesse en matière organique est très variable, le sens dans lequel se déplace l'équilibre gains sur pertes.

3. CARACTERISTIQUES MAJEURES DES CONSTELLATIONS D'HORIZONS DE SURFACE :

a) **Comparaison des caractéristiques des constellations d'horizons de surface intéressant les sols forestiers tempérés :**

La figure 3 et le tableau X montrent clairement que l'activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone va en croissant dans l'ordre suivant : constellation A2 (mors) < constellation C2 (moders) et constellation B2 (mull calcique de rendzine brunifiée et hydromulls) < constellation D2 (mulls) < mulls calciques de rendzine et sol

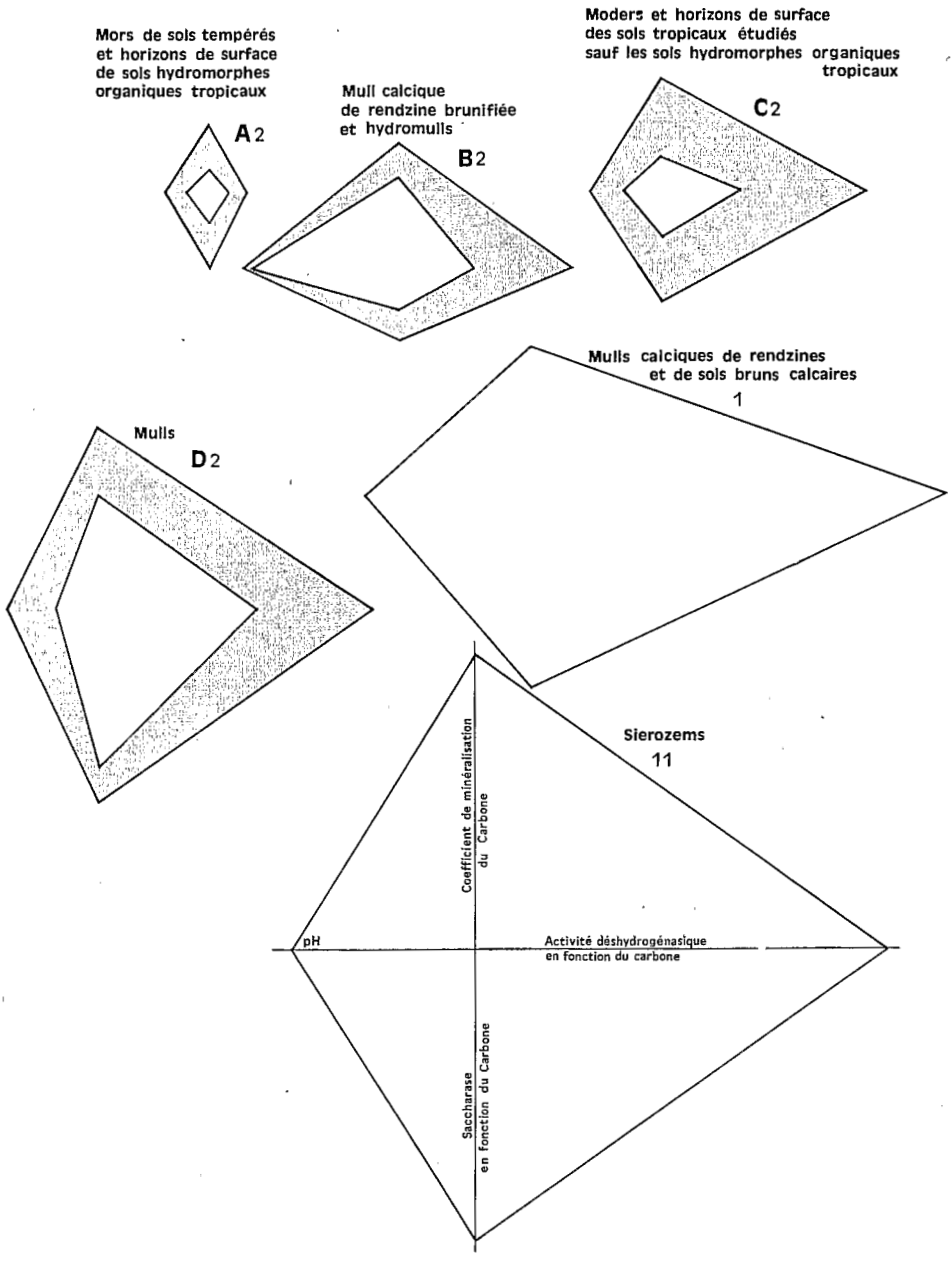

FIGURE 3

Représentation des caractéristiques des constellations A2, B2, C2, D2, *et des deux types d'horizons de surface non regroupés dans ces constellations (mulls calciques* 1 *et sierozems* 11). *Pour les constellations, on a porté les valeurs maximales et minimales des variables : pH, coefficient de minéralisation du carbone, activité déshydrogénasique en fonction du carbone, saccharase en fonction du carbone ; pour les types d'horizons de surface* 1 *et* 11, *on a porté uniquement les valeurs moyennes*

TABLEAU X

Valeurs extrêmes du pH et des 3 variables biologiques correspondant à chacune des constellations mises en évidence par la deuxième méthode (utilisation des variables exprimées en fonction du carbone)

	pH	coefficient de minéralisation du carbone	activité déshydrogénasique en fonction du carbone	saccharase en fonction du carbone
Mors de sols tempérés et horizons de surface de sols hydromorphes organiques tropicaux (A2)	3,6 et 4,2	0,2 et 0,6	102 et 197	782 et 2038
Mull calcique de rendzine brunifiée et hydromulls (B2)	6,9 et 7,1	0,8 et 1,1	403 et 917	1115 et 1900
Moders et horizons de surface des sols tropicaux étudiés sauf les sols hydromorphes organiques tropicaux (C2)	4,0 et 4,9	0,3 et 1,0	427 et 1077	1153 et 2911
Mulls (D2)	4,1 et 5,4	1,0 et 1,6	846 et 1457	4204 et 5120
Mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires (I)	7,4	1,3	2210	508[illegible]
Sierozems (II)	7,9	2,6	2173	7726

brun calcaire. Cette classification se superpose sensiblement à celle qui a été proposée par DUCHAUFOUR (1965) pour les mors, moders, mulls acides ; en ce qui concerne les mulls calciques, elle apporte des précisions complémentaires puisqu'elle permet de séparer ces horizons de surface en deux catégories nettement distinctes :

1° **Les mulls calciques de rendzines et de sols bruns calcaires** sont caractérisés par une activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone très élevée (2210) et un cœfficient de minéralisation du carbone assez élevé (1,3) ;

2° **Le mull calcique de rendzine brunifiée et les hydromulls** ont une activité respiratoire exprimée en fonction du carbone nettement plus faible que celle des autres mulls. Ce ralentissement considérable de l'activité respiratoire exprimée en fonction du carbone est dû :

1° Dans le cas des hydromulls à l'intervention du facteur hydromorphie ;

2° Dans le cas de la rendzine brunifiée à l'intervention du facteur altitude (il s'agit d'un sol prélevé à une altitude de 1350 m).

b) **Comparaison des caractéristiques des constellations d'horizons de surface interessant les sols tropicaux et des caractéristiques des horizons de surface du sol aride (sierozem) :**

Les horizons de surface des sols de zone tropicale humide qui ont été prélevés,

pour la plupart, sur la Falaise de la Côte Est de Madagascar, se répartissent en 2 catégories bien distinctes :

1° Catégorie des horizons de surface des sols hydromorphes organiques tropicaux, qui s'intègrent dans la constellation A2 dont l'horizon de surface tempéré type est le mor ;

2° Catégorie des horizons de surface des sols ferrallitiques, sols hydromorphes minéraux tropicaux et podzols tropicaux qui s'intègrent dans la constellation C2 dont l'horizon de surface tempéré type est le moder.

La parenté qui s'établit sur le plan des caractéristiques biologiques entre les horizons de surface des sols hydromorphes organiques tropicaux (sols à tendance tourbeuse) et les mors de sols tempérés va de pair avec une ressemblance morphologique très nette. Il n'en est pas de même pour la parenté qui unit dans une même constellation d'une part les horizons de surface des sols ferrallitiques, des sols hydromorphes minéraux, des podzols tropicaux et d'autre part, les horizons de surface des moders. En effet, si les horizons de surface des podzols tropicaux et des hydromorphes minéraux tropicaux présentent une morphologie voisine de celle des moders, les horizons de surface des sols ferrallitiques présentent par contre une morphologie identique à celle des mulls. Cette convergence morphologique entre les mulls et les horizons de surface des sols ferrallitiques a pu être vérifiée par l'un de nous dans d'autres stations, en zone tropicale humide.

Quant aux horizons de surface de sols de sierozems, qui ont tous été prélevés dans le centre-est de la Tunisie, ils sont caractérisés par un activité déshydrogénasique exprimée en fonction du carbone qui les rapproche des mulls calciques ; ils diffèrent cependant de ces sols par un cœfficient de minéralisation du carbone beaucoup plus élévé (2,6 contre 1,3) et, surtout, par des caractéristiques biologiques non exprimées en fonction du carbone très faibles. Ainsi, l'activité déshydrogénasique des horizons de surface (non exprimée en fonction du carbone) est de 6 seulement pour les sierozems : elle a une valeur inférieure à celle des mors, qui sont des horizons de surface des sols tempérés biologiquement les moins actifs.

Des analyses effectuées par ailleurs sur des sols normalement drainés provenant de zones tropicales sèches ou semi-humides, montrent que ces sols, tout comme les sierozems, présentent une activité déshydrogénasique en fonction du carbone et un cœfficient de minéralisation élevés ; ces deux particularités sont caractéristiques d'une matière organique très labile : c'est ce qui explique que, dans ces sols, la reconstitution du stock de carbone organique soit très difficile, notamment sous irrigation.

4. REMARQUES RELATIVES AUX CORRELATIONS :

a) Corrélation positive dégagement de CO_2/activité deshydrogénasique :

Etant donné le principe de la mesure de l'activité déshydrogénasique, on doit s'attendre à ce qu'il existe une corrélation positive entre cette activité et le dégagement de CO_2 ou l'absorption d'oxygène du sol. Une telle corrélation a effectivement été mise en évidence, il y a déjà plusieurs années, par STEVENSON (1959)) ; nous la retrouvons dans la présente étude (tableau VII). Mais on verra par ailleurs qu'il n'en est pas toujours ainsi (BAUZON **et al.**, 1969).

b) Corrélation positive dégagement de CO_2/saccharase et corrélation positive activité deshydrogénasique/saccharase :

On sait, depuis les travaux de ROSS et ROBERTS (1968), que la teneur du sol en saccharase peut être assez souvent liée par une corrélation positive à l'activité respiratoire du sol, mesurée par l'absorption d'oxygène (ou, ce qui revient sensiblement au même, par le dégagement du CO_2). Les résultats de la présente étude confirment cette possibilité. L'existence de la corrélation positive dégagement de CO_2/saccharase apparaîtrait dans tous les sols où le saccharose (substrat de la saccharase) constituerait une partie non négligeable du carbone minéralisable du sol.

La mesure de l'activité déshydrogénasique du sol étant une méthode de mesure de son activité respiratoire, il est normal que l'existence d'une corrélation positive entre

la teneur du sol en saccharase et le dégagement de CO_2, entraine l'existence d'une corrélation positive entre la teneur du sol en saccharase et son activité déshydrogénasique.

F. — CONCLUSIONS

1. CONCLUSIONS D'ORDRE METHODOLOGIQUE :

a) Il est possible de fonder une classification des horizons de surface sur des caractéristiques respirométriques, enzymatiques et sur le pH, à condition d'employer une méthode statisque mettant simultanément en jeu plus de deux variables. Une classification faisant appel à une ou deux variables seulement serait vouée à l'échec ;

b) Les méthodes adoptées ici permettent de déceler facilement dans les sols **in situ** l'intervention du processus de stabilisation de la matière organique, et, en conséquence, de faciliter l'orientation des recherches relatives aux divers mécanismes responsables de cette stabilisation tels que complexation des substrats ou dénaturation des enzymes extracellulaires, etc... Inversement, il est possible, grâce aux analyses respirométriques et enzymatiques, d'évaluer la sensibilité à la biodégradation de la matière organique des sols, évaluation qui présente un intérêt majeur pour l'agronome travaillant en zone aride ou tropicale sèche (DOMMERGUES, 1967).

2. CONCLUSIONS D'ORDRE ECOLOGIQUE :

a) **Horizons de surface de sols forestiers de zone tempérée :**

Ces horizons se répartissent en 5 catégories - désignées ici sous le terme de constellations - qui se classent comme suit par ordre décroissant d'activité respiratoire exprimée en fonction du carbone ;

1° Constellation des mulls calciques ;

2° Constellation des mulls ;

3° Constellation des hydromulls ;

4° Constellation des moders ;

5° Constellation des mors.

La diminution de l'activité respiratoire que l'on observe en allant des mulls aux mors est le signe indiscutable d'une stabilisation de plus en plus poussée de la matière organique dans les horizons de surface ; cette stabilisation est la conséquence de l'intervention de processus évoqués plus haut dont nous étudions certains mécanismes par ailleurs (BAUZON **et al.**, 1969).

b) **Horizons de surface des sols forestiers tropicaux ferrallitiques :**

Ces horizons sont caractérisés par une faible activité respiratoire exprimée en fonction du carbone ; ce caractère traduit une stabilité assez remarquable de la matière organique dans les sols ferrallitiques.

c) **Horizons de surface des sols arides (sierozems) :**

Contrairement aux horizons de surface des sols ferrallitiques - qui, par définition, se sont développés en zone tropicale humide - les horizons de surface des sols arides présentent une activité respiratoire exprimée en fonction du carbone anormalement élevée ; ce caractère est l'indice d'une très grande sensibilité à la biodégradation de la matière organique de ces sols.

G. — REMERCIEMENTS

Notre gratitude va à l'Institut Blaise-Pascal du C.N.R.S. pour l'accès à son ordinateur CDC 3.600.

(Reçu pour publication le 18 septembre 1968.)

BIBLIOGRAPHIE

BAUZON D., BECK G., VAN DEN DRIESSCHE R., DOMMERGUES Y., 1969. — L'effet-litière. **Oecologia Plantarum** (sous presse).

BEYER W.H., edit. 1966. — **Handboock of tables for probability and statistics.** Chemical Rubber, Cleveland, 517 p.

CASIDA L.E., KLEIN D.A., SANTORO T., 1954. — Soil dehydrogenase activity. **Soil Science 98** (6), 371-376.

DOMMERGUES Y., 1960. — La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. **Agron. trop.,** 15, 54-60.

DOMMERGUES Y. — Nouvelles possibilités d'étude et d'amélioration de la fertilité des sols tropicaux offertes par les techniques microbiologiques. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Nov. 1967 (sous presse).

DUCHAUFOUR Ph., 1965. — **Précis de Pédologie.** Masson, Paris, 481 p.

HIERNAUX J., 1965. — Une nouvelle mesure de distance anthropologique entre populations utilisant simultanément des fréquences géniques, des pourcentages de traits descriptifs et des moyennes métriques. **C.R. Acad. Sci. Paris,** 260, 1.748-1.750.

HOFMANN E., SEEGERER A., 1951. — Ueber das Enzymsystem unserer Kultur-böden (Saccharase). **Biochem. Z.,** 322, 174-179.

LEMEE G., LOSSAINT P., 1953. — Carte des groupements végétaux et des sols du massif forestier du Herrenwald, Krittwald et bois de Geudertheim. Serv. Carte des groupements végétaux, C.N.R.S. Montpellier.

LEMEE G., LOSSAINT P., METTAUER H., WEISSBECKER R., 1958. — Recherches préliminaires sur les caractères bio-chimiques de l'humus dans quelques groupements forestiers de la plaine d'Alsace. Internationale Symposion Pflanzensoziologie-Bodenkunde, **Angew. Pflanzensoziol.,** 15, 93-101.

LEMEE G., 1967. — Investigations sur la minéralisation de l'azote et son évolution annuelle dans les humus forestiers **in situ. Oecologia Plantarum,** 2 (4), 285-324.

LOSSAINT P., ROUBERT R.-M., 1964. — La minéralisation de l'azote organique dans quelques humus forestiers acides. **An. Inst. Past.,** 107, 178-187.

MINDERMAN G., DANIELS L., 1967. — Colonization of newly fallen leaves by micro-organism in : **Progress in soil biology.** Verlag Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 3-9.

ROSS D.J., 1965. — A seasonal study of oxygen uptake of some pasture soils and activities of enzymes hydrolysing sucrose and starch. **J. of Soil Science,** 16 (1), 73-85.

ROSS D.J., ROBERTS H.S., 1968. — A study of activities of enzymes hydrolysing surcrose and starch and oxygen uptake in a sequence of soils under tussoch grossland. **J. soil Sc.,** 19 (1), 186-196.

SPEARMAN C., 1904. — The proof and measurement of association between two things. **Am. J. Psych,** 15, 72-101.

STEVENSON I.L., 1959. — Dehydrogenase activity in soils. **Canad. J. Microbiol.,** 5, 229-235.

VAN DEN DRIESSCHE R., 1965. — La recherche des constellations de groupes à partir des distances généralisées D^2 de Mahalanobis. **Biom.-Prax.,** 6 (1), 36-47.

ZOTTL H., 1960. — Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldodenmaterial. II - Einfluss des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung. **Plant and Soil,** 13, 183-206.

SUMMARY

RESPIROMETRIC AND ENZYMATIC CHARACTERISATION OF SURFACE HORIZONS OF FOREST SOILS

A statistical study, including measures of distance and cluster analysis of pH, respirometric (CO_2 evolution, dehydrogenase activity) and enzymatic (saccharase) characters, all taken simultaneously, shows that it is possible to advocate a biological classification of the surface horizons of forest soils.

a. *Surface horizons of temperate forest soils.*

These horizons can be divided into five main entities, according to their decreasing respiratory activity, expressed as CO_2 evolution or dehydrogenase activity per gram of soil carbon :
calcic mulls > mulls > hydromulls > moders > mors.

The decrease in respiratory activity from mulls to mors seems correlated to an increase of resistance to biodegradation of the organic matter.

b. *Surface horizons of humid tropical forest soils (ferrallitic soils). These horizons are characterised by a very low respiration activity expressed per gram of soil carbon ; thus their organic matter appears to be resistant to biodegradation.*

c. *The surface horizons of arid soils, of sierozem type, have a very low respirometric activity expressed per gram of soil, but very high respirometric activity per gram of soil carbon. This last character indicates a high susceptibility to biodegradation of this type of organic matter which has been studied in one location only.*